

Artículos

El litio: desde los salares de la Puna a nuestros celulares

Mauro de la Hoz¹, Verónica Rocío Martínez², José Luis Vedia²

¹ Instituto de Bio y Geociencias del NOA, UNSa-CONICET e Instituto de Geociencias – Universidad de Brasilia

² Universidad Nacional de Salta.

Esta contribución pretende acercar a los lectores información sobre el litio, un elemento químico estratégico, ya sea en forma metálica o como parte de otros productos industrializados, es importante en todo el mundo por su amplio uso en áreas tecnológicas, como las baterías de distintos aparatos electrónicos, desde una computadora a un *smartphone*, en la industria aeroespacial y otros usos que serán detallados en este trabajo. Sudamérica cuenta con aproximadamente el 80% de las reservas mundiales de litio, las cuales están distribuidas principalmente entre Bolivia, Chile y Argentina. Los salares de la Puna y el Altiplano son ambientes geológicos favorables para encontrar este elemento disuelto en sus aguas subterráneas, aunque no siempre estos cuerpos salinos presentan concentraciones de litio económicamente rentables.

¿QUÉ ES EL LITIO?

El litio es un elemento que presenta relativa abundancia en la corteza terrestre, se lo puede encontrar tanto en rocas como también disuelto en aguas marinas y continentales. El símbolo de este elemento químico es **Li** y en la tabla periódica se lo encuentra en el grupo I, junto a otros elementos alcalinos, como el sodio, potasio, rubidio, cesio, francio. El litio toma su nombre del griego "*lithos*" que significa "*piedra*", ya que fue el único elemento alcalino descubierto en un mineral, mientras que los demás metales de este grupo se encontraron por primera vez en tejidos de plantas o por electrólisis. El descubrimiento de este elemento se produjo en el año 1817 por Johann Arfvedson mientras estudiaba muestras minerales provenientes de una mina en la isla Utö (Suecia). Esos minerales eran espodumeno, $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ y lepidolita, $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3[(\text{F},\text{OH})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}]$, (Figura 1). Recién en 1855 Thomas Brande logró aislarlo como metal libre. En su forma pura, es un metal blando, de color blanco plata, que se oxida rápidamente en aire o agua.

En los magmas el litio es un elemento que, por sus propiedades químicas, durante el ascenso y cristalización, va concentrándose en el líquido del final de la cristalización magmática, formando minerales en las rocas conocidas como pegmatitas.

El litio se encuentra en muchas rocas de la corteza terrestre y también disuelto en diferentes tipos de aguas, desde las marinas hasta las aguas de los salares en la Puna, pero generalmente en concentraciones muy bajas. Este elemento se presenta en dos formas muy diferentes, en rocas pegmatíticas y en salmueras naturales, en cada caso con sus asociaciones minerales propias y tipos de explotación particulares.

Si bien existen alrededor de 145 especies minerales que contienen litio como componente principal, sólo unos pocos de estos minerales tienen realmente valor económico ya que existen algunas limitantes para la explotación de este tipo de yacimientos. Por ejemplo algunos depósitos que contienen estos minerales son muy pequeños, otros tienen un contenido demasiado bajo de litio o muy alto de elementos perjudiciales para los procesos mineralúrgicos (magnesio, sulfato, etc.), o bien se encuentran situados en áreas remotas, lo que hace que no sea económicamente rentable extraerlos y procesarlos (por ejemplo en Tibet).

Con respecto a las salmueras naturales, son los depósitos que tienen mayor concentración de litio, ya que en ellos se encuentra el elemento disuelto como ión, como en las aguas subterráneas de algunos salares, acompañado de potasio, magnesio y boro. Por lo general la mayor parte del litio en estos depósitos proviene de aguas geotermales, o tal vez en parte de la lixiviación de cenizas volcánicas, arcillas o de otras rocas ricas en este elemento. Sin embargo, el litio es muy difícil de separar de la estructura reticular de todas las rocas y minerales, tampoco se disuelve fácilmente a menos que el proceso se produzca en agua muy caliente.

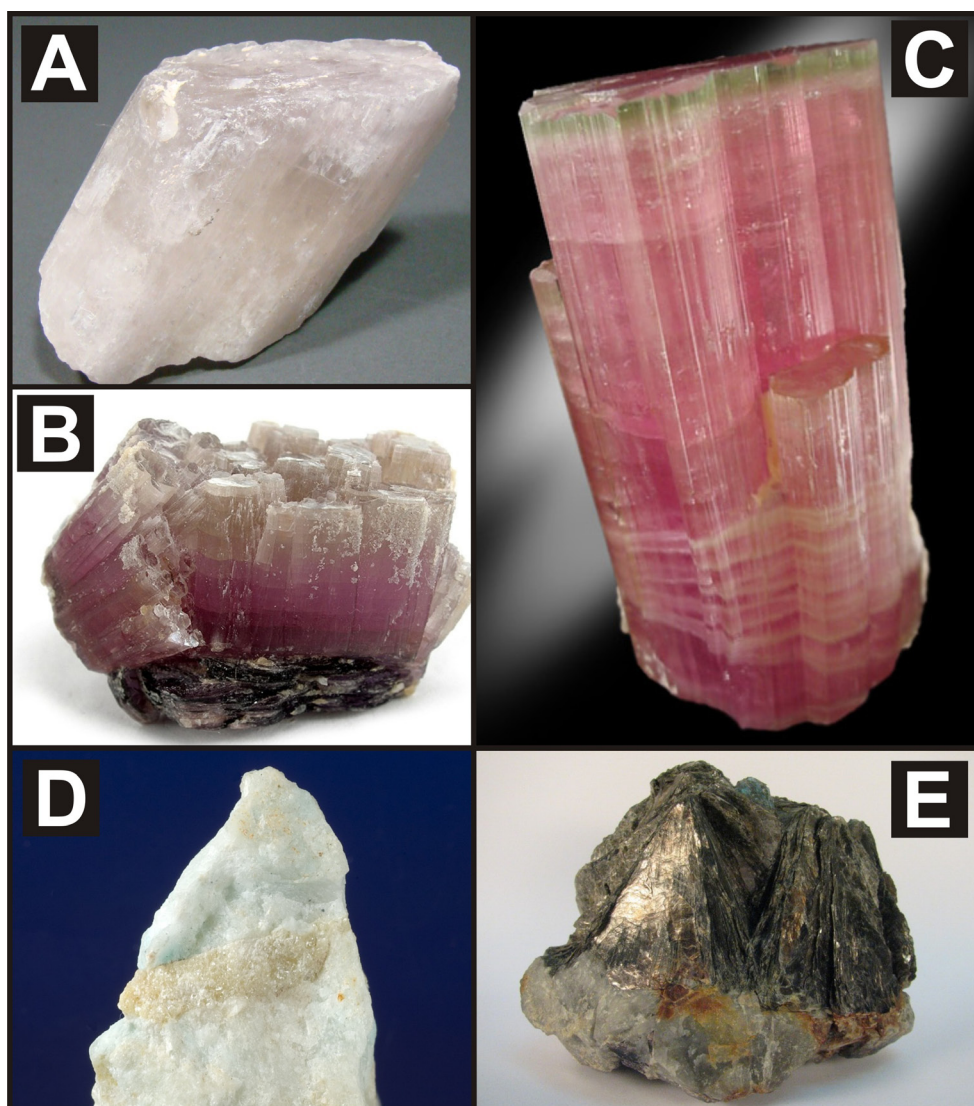


Figura 1: Minerales que contienen litio en su estructura cristalina. **A:** Espudomeno = $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$. **B:** Lepidolita = $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$. **C:** Elbaita = $\text{Na}(\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{1.5})\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{OH})$. **D:** Ambigonita = $\text{LiAl}(\text{PO}_4)\text{F}$. **E:** Zinnwaldita = $\text{KLiFe}^{2+}\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$. **Fuente:** <http://www.mindat.org/>

Por lo tanto, cuando estas aguas geotermales diluidas llegan a la superficie terrestre a cuencas cerradas e impermeables, más precisamente a los salares y en un clima árido, se concentran por el proceso de evaporación. Estas salmueras de litio dan lugar a un número reducido de grandes depósitos a nivel mundial.

Un salar se forma a partir de la ocurrencia de varios factores entre los que se destaca la tectónica de placas⁽¹⁾, el volcanismo⁽²⁾, el hidrotermalismo⁽³⁾, el endorreísmo⁽⁴⁾ y el clima. La conjugación de todos estos factores mencionados es lo que otorga a los depósitos evaporíticos características peculiares que los distinguen de los formados en marcos geodinámicos diferentes (Alonso, 2006). De manera que cada factor juega un papel fundamental en la generación de los salares. Los elementos químicos como el litio se incorporan ya sea por la inyección directa de fluidos líquidos o gaseosos de origen magmático a los circuitos hidrológicos, o por el lixiviado subterráneo de las aguas meteóricas⁽⁵⁾, infiltradas y calentadas por el elevado flujo térmico de la región originado por la actividad volcánica.

ALGUNOS TÉRMINOS PARA CONOCER

⁽¹⁾Tectónica de placas: del griego τεκτονικός, tektonicós, "el que construye". Es una teoría geológica que explica la forma en que está estructurada la litosfera (la porción externa más fría y rígida de la Tierra). La teoría brinda una explicación para las placas tectónicas que forman la superficie de la Tierra y los desplazamientos que se observan entre ellas en su movimiento sobre el manto terrestre fluido, sus direcciones e interacciones. También explica la formación de las cadenas montañosas y el origen de los terremotos y los volcanes.

⁽²⁾Volcanismo: fenómeno que consiste en la salida desde el interior de la Tierra hacia la superficie de material fundido o magma, acompañada de emisión a la atmósfera de gases.

⁽³⁾Hidrotermalismo: Conjunto de fenómenos relacionados con la circulación de fluidos calientes en el interior de la corteza terrestre.

⁽⁴⁾Endorreísmo: proceso de escurrimiento de aguas hacia una cuenca cerrada o lago temporal. Los factores más importantes que controlan este fenómeno son: relieve, clima y precipitaciones.

⁽⁵⁾Aguas Meteóricas: Aguas provenientes de fenómenos meteorológicos, tales como la lluvia, la nieve y el granizo.

LA FORMACIÓN DE LOS SALARES

La formación de los salares del Altiplano-Puna está relacionada con el levantamiento de la cadena montañosa de los Andes. Todo comenzó hace 65 millones de años cuando los Andes y los salares no estaban, en su lugar existía un mar donde se iban depositando carbonatos, que con el tiempo formarían rocas amarillentas llamadas calizas. Al comenzar el levantamiento de los Andes por el proceso compresivo de la tectónica andina, estas calizas también lo hicieron y hoy pueden encon-

trarse a 4 km de altitud en la Puna y a 6 km de profundidad al pie de las Sierras Subandinas. Algunas decenas de millones de años después, la placa de Nazca en su contacto con la placa Sudamericana produjo fusión de las rocas, dando origen a magmas que se elevaron hasta la superficie para formar una sorprendente cadena de volcanes (Figura 2). Esa fuente de calor dio lugar a que la corteza se ablandara y comenzara a deformarse por el permanente empuje de la losa del Pacífico.

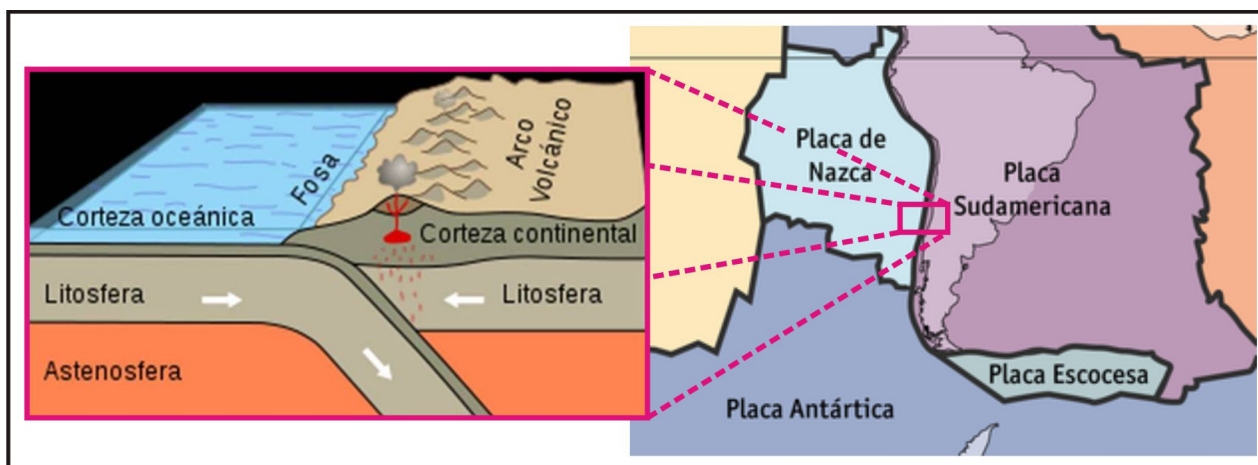
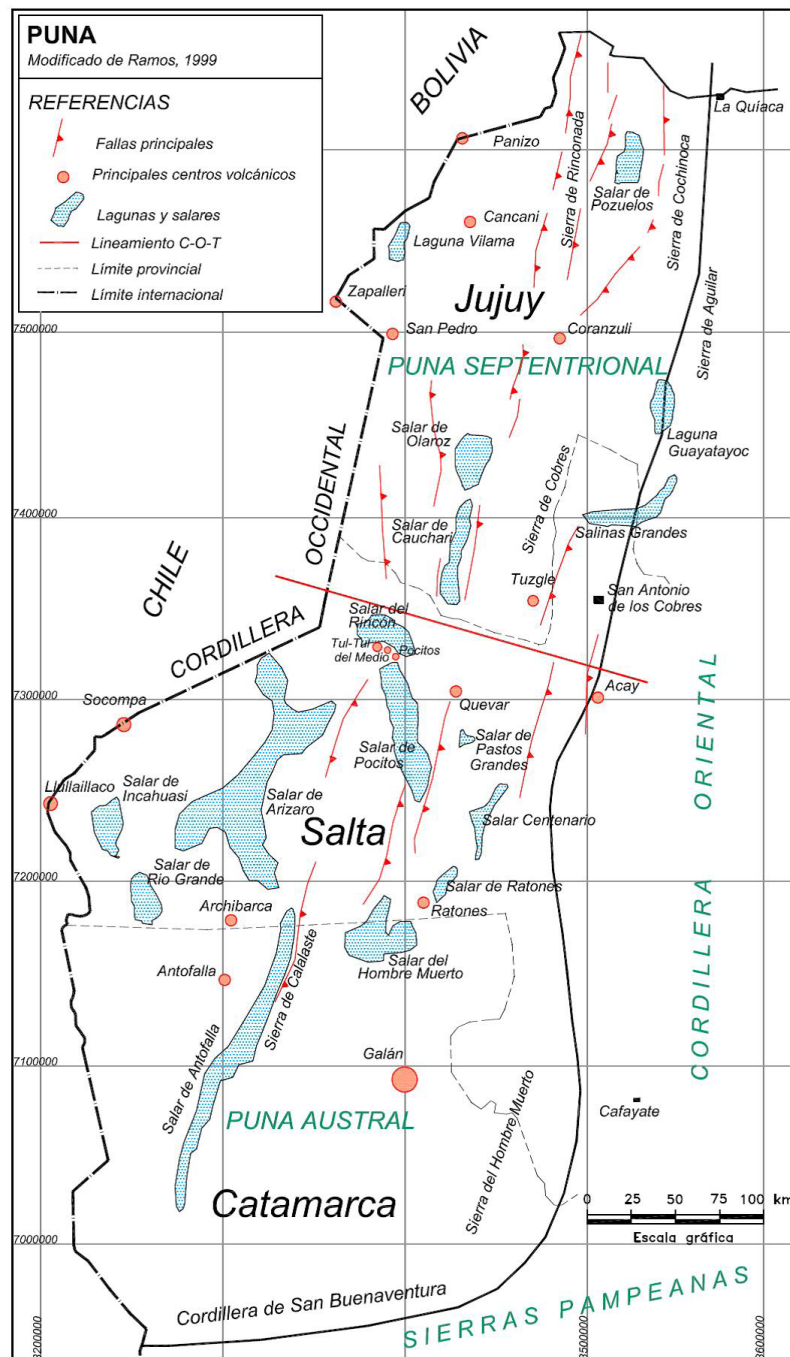


Figura 2: Formación de la cadena volcánica de los andes. **Fuente:** <https://www.wikipedia.org>

Figura 3: Mapa de la Puna Argentina mostrando los salares más importantes. Modificado de Ramos (1999).

De ese arrugamiento o acortamiento surgió una cadena de montañas que dio lugar a la llamada Cordillera Oriental, donde se distinguen sierras y nevados como los del Cachi, Chañi, Aguilar y otros. De esta manera entre la cadena de volcanes al oeste y la cadena de montañas al este, quedó encerrada una amplia región endorreica que hoy alberga al Altiplano y la Puna. Esta gran cuenca cerrada, a unos 4 km sobre el nivel del mar, contuvo todas las aguas que confluían en su interior. En latitudes de los Andes centrales, las montañas del este frenan las lluvias procedentes del lado atlántico mientras que el lado oeste es seco y árido. El Altiplano y la Puna son relativamente más húmedos hacia el norte y en su cara oriental y se hacen más secos hacia el sur y hacia su cara occidental (Figura 3). Las escasas precipitaciones convierten a estas regiones en un lugar desértico, y las aguas que llegan, sea por precipitaciones pluviales o nivales, se infiltran en los terrenos porosos, alimentan manantiales y luego brotan formando vegas de aguas dulces o salobres según los terrenos que atraviesen. Por otro lado están las aguas termales que adquieren temperatura por su cercanía a cámaras magmáticas activas o donde el grado geotérmico es mayor. Esas aguas ascienden hacia la superficie generalmente cargadas de numerosos elementos químicos que precipitan dando distintos tipos de sales, tales como los carbonatos, sulfatos, boratos y cloruros.



El Doctor Ricardo N. Alonso desde la década de 1980 abocó sus estudios a estos cuerpos salinos de la Puna, resaltando siempre su valor y potencial económico, tanto por los boratos como por el litio. En sus publicaciones recientes vinculadas a la presencia de litio en las salmueras, destaca los trabajos de Luciano Catalano, químico y geólogo argentino, quién ya desde 1920 mencionaba la importancia de este elemento químico tan valioso para el desarrollo de la tecnología actual, que se tornó popular e indispensable en la última década.

En Sudamérica existe un área conocida como el "Triángulo del litio" (Figura 4) que concentra aproximadamente el 85% de este elemento en el mundo. Lo integran el salar de Atacama en Chile, el salar del Hombre Muerto en Argentina y el salar de Uyuni, en Bolivia; este último contiene el 45% de las reservas mundiales de litio (Figuras 5 y 6).

El crecimiento acelerado del uso del litio ha provocado que una tonelada de litio suba su precio desde 1.500 dólares que costaba en 2003 hasta su pico máximo de 5.200 dólares en 2009; actualmente su valor es de 4.300 dólares por tonelada.

Figura 4: Triángulo del Litio en Sudamérica.

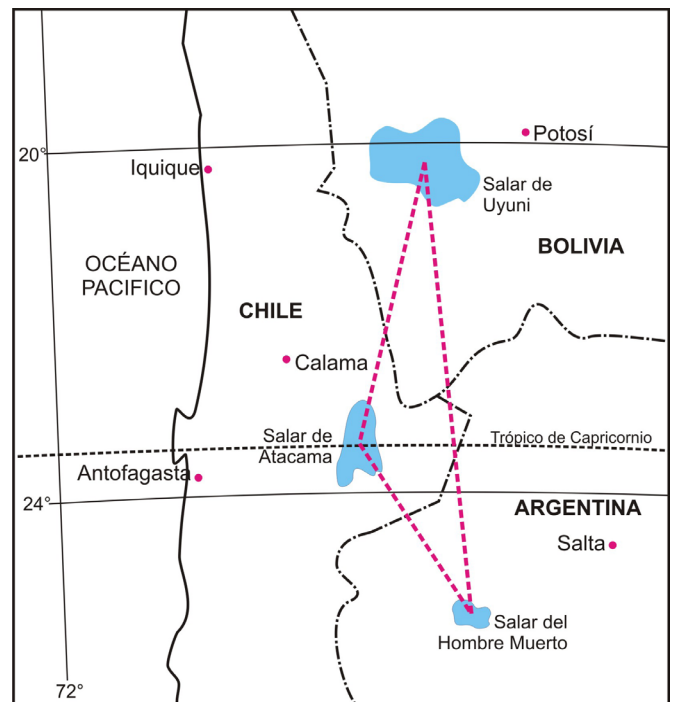


Figura 5: Salares de Atacama (Izquierda) y de Uyuni (derecha). Fuente: <http://www.panoramio.com>



Figura 6: Salar del Hombre Muerto. Fuente: <http://www.panoramio.com>

PROCESOS DE OBTENCIÓN DE LITIO

En 1923 la empresa alemana Metallgesellschaft AG logró obtener a escala industrial por primera vez litio con fines comerciales a través de procesos de electrólisis.

Hoy en día el proceso de obtención de litio se lleva a cabo por otros métodos, ya que gran parte de la producción mundial de este elemento proviene de salmueras, cuyo costo de producción es mucho menor que el de otros depósitos minerales.

La extracción de salmueras de litio se realiza a través del bombeo desde abajo de la corteza salina (30 a 50 metros de profundidad), las que son depositadas en piletones de baja profundidad y grandes dimensiones, en las cuales, y a partir del proceso de evaporación solar, comienzan a precipitar secuencialmente un conjunto de sales (Figura 7).

El proceso de evaporación, además de elevar la concentración de las sales, hace que al saturarse algunas de éstas se vayan precipitando y en la salmuera se concentre mayor cantidad de litio. Hay que destacar que la evaporación no consume energía artificial ni se utilizan reactivos químicos, este proceso depende de las condiciones meteorológicas del lugar (radiación solar, vientos, velocidad de evaporación y régimen de lluvias). Pero sí existe la necesidad de usar posteriormente otro método de separación (*liming*) de las salmueras ya concentradas, que genera residuos sólidos.

El concentrado obtenido por evaporación, rico en cloruro de litio (LiCl), es llevado a un proceso de purificación, para finalmente añadirle carbonato de sodio (Na_2CO_3) y generar el carbonato de litio (Li_2CO_3). Este compuesto puede ser utilizado en varias aplicaciones (fabricación de vidrios y cerámicas, industria del aluminio, grasas lubricantes, etc.). A partir del cloruro de litio se obtiene el litio metálico, utilizado para la fabricación de baterías, aleaciones especiales y farmacología.

Otro proceso de concentración es la adsorción mediante una membrana adsorbente selectiva de litio. Este proceso tiene la ventaja que no es afectado por la composición del agua salada (pueden tratarse salmueras con bajas concentraciones de litio) ni por las condiciones meteorológicas del lugar, y es amigable con el medio ambiente ya que no se generan muchos residuos, pero tiene la desventaja de que son necesarios reactivos químicos y el equipo de adsorción es caro y complicado de operar.

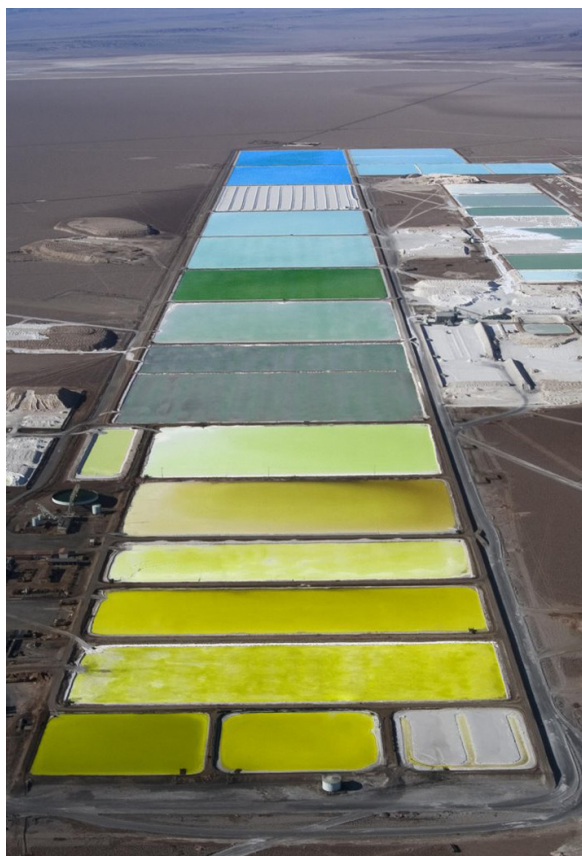


Figura 7: Piletones de evaporación en el Salar de Atacama, Chile.
Fotografía: Haroldo Horta.



Figura 8: Piletones de prueba para evaporación en el Salar de Pozuelos, Provincia de Salta – Cortesía EKEKO S.A.



Figura 9: Perforación para exploración en el Salar de Pozuelos, Provincia de Salta – Cortesía EKEKO S.A.

USOS Y APLICACIONES

El litio por sus propiedades físicas y químicas, es el más liviano y electropositivo de todos los elementos sólidos y ha logrado desarrollar en la actualidad un mercado diverso, que crece día a día. Es un elemento versátil, porque se comercializa y se usa como concentrado de mineral, metal y compuesto químico, orgánico e inorgánico (Figura 10).

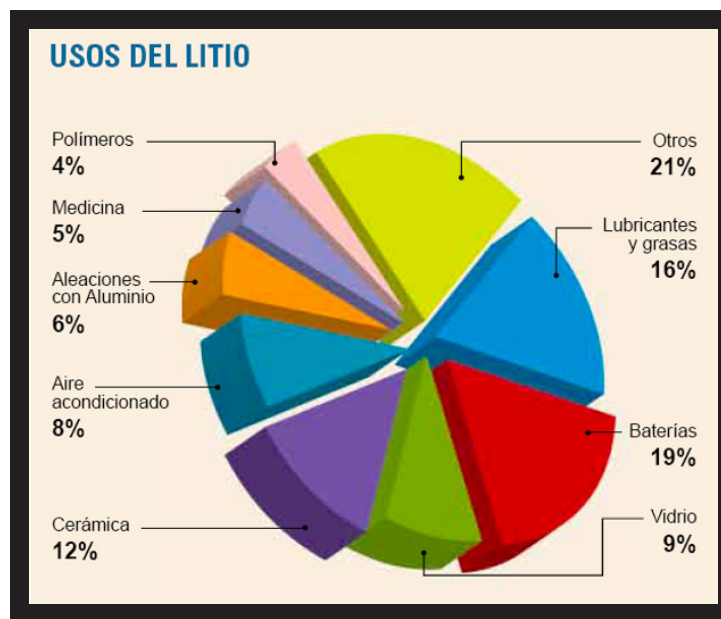


Figura 10: Usos del Litio. Fuente: <http://wp.cedha.net/>

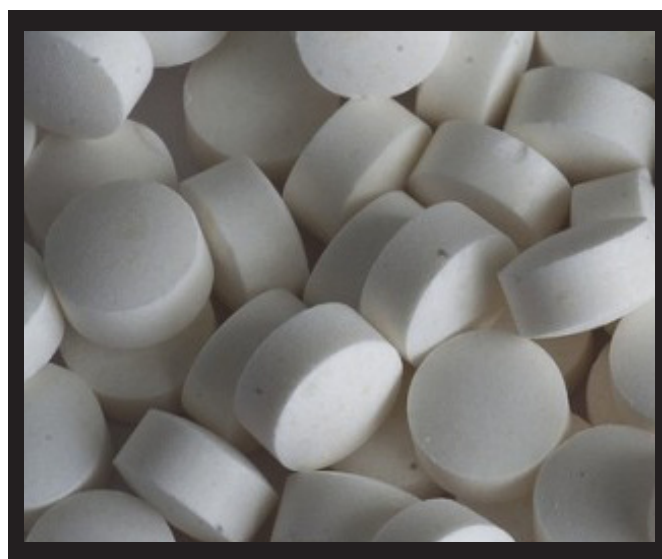
El mayor consumo es en la forma de productos químicos inorgánicos, destacando el carbonato de litio y el hidróxido de litio. Algunos de sus usos son para manufactura de vidrios, producción de esmaltes para cerámicas, producción de aluminio metálico, ingrediente crítico en la fabricación de tubos de televisión, fabricación de grasas lubricantes de usos múltiples, obtención de litio metálico, absorbente de CO_2 en la industria espacial y submarinos, fuentes de energía eléctrica (baterías) y hasta para elaborar medicamentos.



Grasa de litio. Fuente: <http://litio555.blogspot.com.ar/>. **Baterías de litio.** Fuente: www.hd-tecnologia.com/



Aún no se conoce el verdadero valor del litio en la medicina, ya que puede cumplir un rol biológico importante sustituyendo al sodio a nivel de las membranas biológicas, pero sí se ha descubierto que incrementa la permeabilidad celular y actúa sobre los neurotransmisores, favoreciendo la estabilidad del estado anímico. Ello dio lugar a que se lo utilice para elaborar psicofármacos.



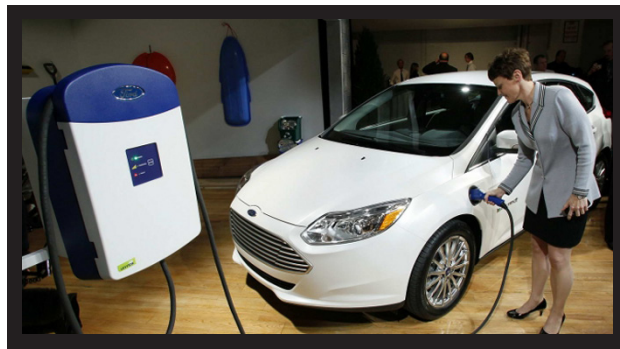
Industria aeroespacial. Fuente: wikipedia

De todos los usos aplicables del litio, las baterías son las que tienen mayor trascendencia debido a que constituyen la fuente de energía de los teléfonos celulares, notebooks, tablets, etc. Estos dispositivos están diseñados para almacenar energía eléctrica, que emplea como electrolito una sal de litio que contiene los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. Sin estas baterías no hubiera sido posible el desarrollo de la tecnología actual, y cada vez son más compactas y pequeñas.



Baterías de litio. Fuente: www.hd-tecnologia.com/

Actualmente un grupo de ingenieros e investigadores de la Universidad de Northwestern Illinois, en los Estados Unidos, ha desarrollado un nuevo tipo de baterías de iones de litio, con una capacidad diez veces mayor que las actuales y posibles de recargar diez veces más rápido, además de alargar su vida útil. Estas nuevas baterías podrían comercializarse en los próximos tres a cinco años, y no sólo para baterías de dispositivos electrónicos, sino también para vehículos eléctricos. Las ventajas de un auto eléctrico con estas baterías son que con el mismo tamaño y peso, podríamos tener 1.500 km de autonomía en lugar de 150 km, o bien con baterías mucho más pequeñas y ligeras, podríamos tener esos 150 km de autonomía y recarga en 48 minutos en lugar de 8 horas.



Auto a baterías de litio. Fuente: <http://energiasrenovadas.com>

Agradecimientos

Este trabajo fue considerablemente mejorado gracias a los comentarios y correcciones durante la revisión de las doctoras Alicia Kirschbaum y Nilda Menegatti. Los autores agradecen especialmente al Doctor Ricardo Alonso, por sus enriquecedores aportes y su buena predisposición para colaborar y orientar esta contribución de divulgación científica.

Bibliografía consultada

Alonso, R.N., 2013. El Litio de la Puna. Diario El Tribuno. Lunes 24 de junio de 2013, Salta.

Alonso, R.N., 2006. Ambientes Evaporíticos Continentales de Argentina. En: Temas de la Geología Argentina I. Serie Correlación Geológica, 21 (2): 155-170. INSUGEO.

Alonso, R.N., 1986. Ocurrencia, posición estratigráfica y génesis de los depósitos de boratos de la Puna argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta, 196 p. Inédito. Salta, Argentina.

Cisternas, L., Montenegro, M., Urquieta, C. (1999). Tecnología de los Procesos Químicos, una revisión a los principios, mercado y medio ambiente a través de la industria química chilena. Universidad de Antofagasta, Chile. 196 p.

Garrett, D. E., 2004. Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride - Their Deposits, Processing, Uses and Properties. 1st Edition. Academic Press – Oxford. Edit. Elsevier. 476 p. ISBN: 978-0-12-276152-2.

Ramos, V.A., 1999. Rasgos Estructurales del Territorio Argentino. 1. Evolución tectónica de la Argentina. Coordinador: Caminos, R. Geología Argentina, Anales 29(24): 715-784. Buenos Aires.

Viramonte, J., Alonso, R., Gutiérrez, R. y Argañaraz, R. 1984. Génesis del litio en los salares de la Puna argentina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 471-481, Bariloche.